

SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

Publication number: JP2002280674

Publication date: 2002-09-27

Inventor: ONOMURA MASAOKI; NUNOGAMI SHINYA

Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO

Classification:

- international: **G02F1/13; G02F1/13357; H01L21/205; H01S5/343;**
G02F1/13; H01L21/02; H01S5/00; (IPC1-7): H01S5/343;
G02F1/13; G02F1/13357; H01L21/205

- European:

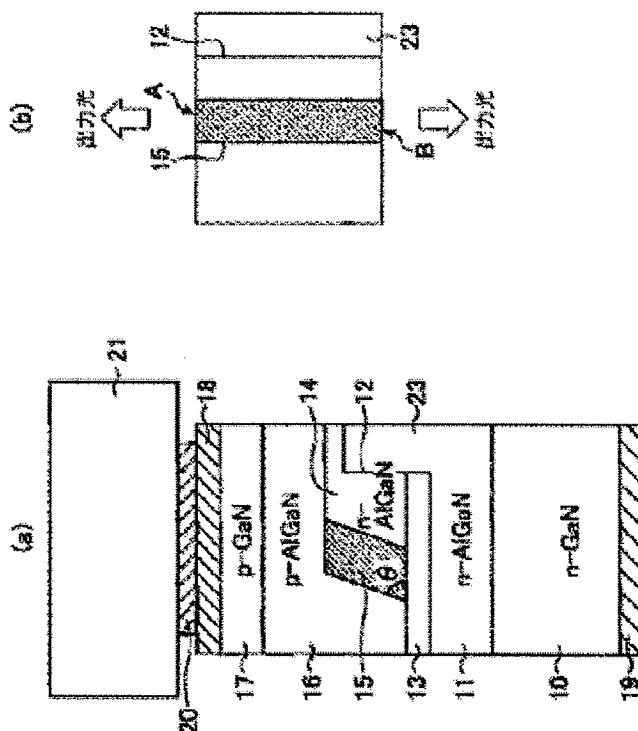
Application number: JP20010078027 20010319

Priority number(s): JP20010078027 20010319

Report a data error here

Abstract of JP2002280674

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light emitting device that uses a nitride base semiconductor and has a reduced oscillation threshold current, highly increased power and improved oscillation wavelength controllability, and to provide its manufacturing method. **SOLUTION:** A buffer layer 11 made of an n-type $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 < x, y, z, x+y+z \leq 1$) base semiconductor is formed on an n-type GaN substrate 10, and a stripe-shaped protrusion 23 is formed on the surface thereof to make a step 12 having a side nearly vertical to the surface of the substrate. A lower clad layer 14 made of the n-type $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 < x, y, z, x+y+z \leq 1$) base semiconductor and having a grown surface inclined to the substrate is formed on the side of the step 12 of the buffer layer 11. Further, an active layer 15 made of a $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 < x, y, z, x+y+z \leq 1$) base semiconductor and having a grown surface inclined to the substrate is formed on the grown surface. An upper clad layer 16 made of a p-type $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 < x, y, z, x+y+z \leq 1$) base semiconductor is formed so as to cover the active layer 15.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A semiconductor emission device comprising:

A substrate.

being formed on this substrate — the surface — abbreviated — an active layer which consists of a nitride system semiconductor which grew epitaxially with a buffer layer in which a level difference was formed with the vertical side, and which consists of nitride system semiconductors, and a grown surface sloping on the side of said level difference of this buffer layer to said substrate.

[Claim 2]A semiconductor emission device comprising:

A substrate.

being formed on this substrate — the surface — abbreviated — the 1st $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system of the 1st conductivity type with which a level difference was formed with the vertical side — a buffer layer which consists of semiconductors.

the 2nd $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system of the 1st conductivity type that grew epitaxially with a grown surface sloping on the side of said level difference of this buffer layer to said substrate — a lower clad layer which consists of semiconductors.

. Have the grown surface which grew epitaxially to a grown surface of this lower clad layer, and inclined to said substrate. the 3rd $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system — with an active layer which consists of semiconductors. the 4th $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system of the 2nd conductivity type that covered this active layer and grew epitaxially — an upper clad layer which consists of semiconductors.

[Claim 3]The semiconductor emission device according to claim 1 or 2 which a level difference of said buffer layer is a stripe shape projection, and is characterized by forming said active layer in stripe shape along the side of said SUTORAIBU-like projection.

[Claim 4]The semiconductor emission device according to claim 1 or 2 which a level difference of said buffer layer is columnar protrusion, and is characterized by forming said active layer with shape which goes said columnar protrusion around.

[Claim 5]The semiconductor emission device according to any one of claims 1 to 3, wherein chip making is carried out including two or more active layers formed on said substrate so that the parallel drive of the active layer of these plurality may be carried out.

[Claim 6]The semiconductor emission device according to any one of claims 1 to 3, wherein chip making is carried out including two or more active layers formed on said substrate so that an active layer of these plurality may drive in series.

[Claim 7]The semiconductor emission device according to any one of claims 1 to 6, wherein said active layer is quantum well structure.

[Claim 8]A manufacturing method of a semiconductor emission device characterized by comprising the following.

A process of growing epitaxially a buffer layer which consists of a nitride system semiconductor

layer on a substrate.

A process of growing epitaxially an active layer which consists of nitride system semiconductors with a process of processing a level difference on the surface of said buffer layer with the side of an abbreviated perpendicular, and a grown surface sloping, on the side of said level difference of said buffer layer to a field of said substrate.

[Claim 9]The semiconductor emission device according to any one of claims 1 to 7 and a projection type display constituted combining an optical system.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the luminescent device which used nitride system semiconductor material especially the luminescent device using $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$), and its manufacturing method.

[0002]

[Description of the Prior Art]In recent years, the needs of the visible semiconductor emission device are growing for light sources, such as solid lighting and a liquid crystal projector. A semiconductor emission device has various advantages which do not need the efficient long lasting bright light source exchange with little power consumption of being compact, compared with a lamp light source. If what was provided with the visible semiconductor laser which has a luminosity exceeding 1000lm (lumen) in the case of a RGB3 type board liquid crystal projector as a light source is realizable, big screen projection of 100 inches or more will be attained also under daylight environment.

[0003]In the case of the lamp light source liquid crystal projector used now, the efficiency for light utilization on which it is projected among light flux 1000lm of a lamp light source is as low as 3% or less, and is low. [of the power efficiency of a lamp] For this reason, it will be restricted to the use of using while carrying out air cooling in the gloomy room. When using a semiconductor light emitting element (LED) as a light source, efficiency for light utilization is improved by about 2 times of a lamp by the device of luminous efficiency being comparable as a lamp and using the lens system which does not perform light branching, and a light source life improves by leaps and bounds than the case of a lamp, but a use is still restricted.

[0004]On the other hand, since improvement in the efficiency for light utilization accompanying improvement in luminous efficiency and it and also reduction of power consumption are achieved, using a semiconductor laser as a light source is expected. However, although G and B use the second harmonic generation among the semiconductor lasers of the red (R) green (G) blue (B) three-primary-colors wavelength (R:630 nm, G:520 nm, B:470 nm) which can express the most variegated color on a chromaticity diagram or it realizes using ZnSe system material, These have not resulted in practical use.

[0005]the GaN system semiconductor laser which has quantum well structure — R, G, and B — all are theoretically understood that laser oscillation is possible.

As for blue-purple color luminescence laser, room temperature continuous oscillation of thousands of hours or more is realized.

However, the oscillation wavelength is 400–450 nm, and blue light of short wavelength is desired more as a light source for high density recording of a liquid crystal projector or an optical disk system. The GaN board which accepts it artificially and is made has many crystal defects, such as a rearrangement, and this has checked a high increase in power of a GaN system semiconductor laser, and low threshold-ization. It originates in the defect of a GaN board, and in plural system cascade screens, such as an active layer, fluctuation of a presentation is large and this makes oscillation wavelength controllability low.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]Although GaN system material is expected as a next-generation liquid crystal projector or a light source of an optical disk system, the actual condition is that originate in the crystal defect of a GaN board as mentioned above, and a high increase in power, the reduction in a threshold, oscillation wavelength controllability, etc. are restricted.

[0007]This invention has low oscillation threshold current, and it aims it at providing a high increase in power, the semiconductor emission device using a nitride system semiconductor which aimed at improvement in oscillation wavelength controllability, and its manufacturing method.

[0008]

[Means for Solving the Problem]A semiconductor emission device concerning this invention is provided with the following.

Substrate.

being formed on this substrate — the surface — abbreviated — a buffer layer in which a level difference was formed with the vertical side and which consists of nitride system semiconductors.

An active layer which consists of a nitride system semiconductor which grew epitaxially with a grown surface sloping on the side of said level difference of this buffer layer to said substrate.

[0009]A semiconductor emission device concerning this invention is formed on a substrate and this substrate again, the surface — abbreviated — the 1st $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system of the 1st conductivity type with which a level difference was formed with the vertical side — with a buffer layer which consists of semiconductors. 2nd $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, \text{ and } z.$) of the 1st conductivity type that grew epitaxially with a grown surface sloping on the side of said level difference of this buffer layer to said substrate $x+y+z \leq 1$ — it has a lower clad layer which consists of semiconductors 1 system, and the grown surface which grew epitaxially to a grown surface of this lower clad layer, and inclined to said substrate. the 3rd $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system — with an active layer which consists of semiconductors. the 4th $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{aluminum}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) system of the 2nd conductivity type that covered this active layer and grew epitaxially — it has an upper clad layer which consists of semiconductors

[0010]A manufacturing method of a semiconductor emission device by this invention is provided with the following.

A process of growing epitaxially a buffer layer which consists of a nitride system semiconductor layer on a substrate.

the surface of said buffer layer — abbreviated — a process of processing a level difference with the vertical side.

A process of growing epitaxially an active layer which consists of a nitride system semiconductor layer with a grown surface sloping on the side of said level difference of said buffer layer to a field of said substrate.

[0011]According to this invention, an active layer which consists of nitride system semiconductors grows epitaxially with a grown surface sloping on the side of an abbreviated perpendicular of a level difference formed on a substrate to a substrate. Even when this uses nitride system semiconductors, such as GaN with many rearrangements, crystal defects, such as penetration dislocation spread in an active layer from a substrate, can be avoided effectively. When many semiconductor layers are formed on condition of lattice mismatching from a substrate, it is easy to generate big distortion stress, but in this invention, since an active layer portion is grown epitaxially into the side of a level difference, distortion included in an active layer can also be suppressed. As mentioned above, according to this invention, as a result of being able to inhibit influences of various on an active layer from a substrate, threshold current is low and a semiconductor emission device of a nitride system with the high controllability of an

oscillation wavelength which is high power is obtained.

[0012]In this invention, a level difference of a buffer layer is a SUTORAIBU upper projection concretely. This projection is made by dry etching in a buffer layer. An active layer is formed in stripe shape along the side of this SUTORAIBU-like projection. Or a level difference of a buffer layer can also be made into columnar protrusion again. Such columnar protrusion also carries out dry etching of the buffer layer, and is made. In this case, an active layer is formed with shape which goes that columnar protrusion around.

[0013]For example, including two or more active layers formed on a substrate, chip making of the semiconductor emission device by this invention can be carried out so that the parallel drive of the active layer of these plurality may be carried out. Or including two or more active layers formed on a substrate, chip making can also be carried out again so that an active layer of these plurality may drive in series.

[0014]

[Embodiment of the Invention]Hereafter, this embodiment of the invention is described with reference to drawings.

[Embodiment 1] Drawing 1 (a) and (b) shows the sectional view and chip flat figure of the GaN system semiconductor laser by this embodiment of the invention. The GaN board 10 is n type GaN (Si dope: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, 80 micrometers) which makes a c axis (0001) Ga side the principal surface. The n type aluminum_{0.05}Ga_{0.95}N buffer layer 11 is growing epitaxially on this GaN board 10. In the field of the buffer layer 11, it has the level difference which processed the stripe shape projection 23 by anisotropic dry etching, and was made. The level difference side 12 is an abbreviated perpendicular to a substrates face.

[0015]The SiO₂ spacer 13 is formed in the bottom (slot) of a level difference. And the n type aluminum_{0.07}Ga_{0.93}N cladding layer (Si dope: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) 14 and the active layer 15 grow epitaxially one by one in a transverse direction considering the side 12 of a level difference as a kind of crystal growth, The p type aluminum_{0.07}Ga_{0.93}N cladding layer (Mg dope: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) 16 is growing epitaxially so that the active layer 15 may be covered. Concretely the active layer 15 A n type GaN lightguide (Si dope: $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, 0.1 micrometer), the multiplex quantum well layer by an In_{0.11}Ga_{0.89}N well layer (3-nm, three layers) / In_{0.02}Ga_{0.98}N barrier layer (6 nm) — and, .

Are constituted as a laminated structure of a p type GaN lightguide (Mg dope: $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, 0.1 micrometer). It is a SCH-MQW (Separate Confinement Heterostructure Multi-Quantum Well) active region, and lateral width is 2 micrometers.

[0016]The cladding layer 14 is formed with an about 60-degree grown surface to the field of the substrate 10 by choosing a growing condition appropriately and growing it epitaxially only into the side 12 of a level difference selectively mostly. By a diagram, although the cladding layer 14 is formed also in the upper surface of the projection 23, what grew up to be a transverse direction from the level difference side 12 projects this also on the projection 23 actually. And the inclination is maintained to the grown surface of the cladding layer 14, and the active layer 15 grows epitaxially selectively. Therefore, the active layer 15 will be formed with the about theta= 60-degree sloping field to the field of the substrate 10. Even if the InGa_N layer of an active layer ingredient grows up to be the upper surface of the cladding layer 14 slightly, as an active layer, it does not function by optimizing the thickness control of a SCH-MQW layer in a transverse direction.

[0017]On the p type AlGa_N clad layer 16, epitaxial formation of the p type GaN contact layer (Mg dope: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, 0.1 micrometer) 17 is carried out. On this p type contact layer 16, the p lateral electrode 18 which consists of Pt/Au is formed, and the n type electrode 19 in which the rear face of the substrate 10 consists of Ti/Pt/Au is formed. The p type electrode 18 is connected to the AlN sub mount chip 21 via the AuSn solder layer 20.

[0018]The manufacturing process of the semiconductor laser of this embodiment is concretely explained with reference to drawing 2 A – drawing 2 D. First, as shown in drawing 2 A, the AlGa_N buffer layer 11 is formed in the surface of the GaN board 10 of a mirror plane by an organic-

metal-vapor-growth (MOCVD) method. Here the Al composition ratio of the AlGaIn buffer layer 11, It is good also as a state where what is necessary is just to be between the Al composition ratios of the AlGaIn clad layer formed on this, and Al composition ratio changes from 0 continuously between them, or as the Al composition ratio of this AlGaIn buffer layer 11 being constant to a thickness direction, It may be made to make the buffer layer from which Al composition ratio changes to the ground further separately intervene.

[0019]By forming the SiO₂ mask and resist mask which are not illustrated on the AlGaIn buffer layer 11, and etching the AlGaIn buffer layer 11 by anisotropic dry etching, as shown in drawing 2 A, the stripe shape projection 23 of a prescribed interval is formed. The level difference side 12 of this stripe shape projection 23 turns into an abbreviated vertical plane, and in order to make this into the field of the following crystal growth, it embeds the spacers 13, such as SiO₂ or SiN, at a fillet section. However, it is not necessary to be necessarily the stripe shape projection 23, and groove processing may be sufficient in order to obtain the level difference 12. To some extent, above, a tooth depth can omit the embedding of the spacer 13, when deep. As the spacer 13, the diffraction grating for vertical microfiche control of laser oscillation may be formed.

[0020]Subsequently, as shown in drawing 2 B, SCH-MQW active layer 15 is continuously grown epitaxially and grown epitaxially in the n type AlGaIn clad layer 14 by the MOCVD method. At this time, AlGaIn clad layer 14 controls vertical growth so that it may mainly grow up to be an oblique direction considering the level difference side 12 of the SUTORAIBU-like projection 23 as a kind of crystal growth. For that purpose, it is necessary to optimize the mixture ratio of hydrogen and nitrogen, the partial pressure of ammonia gas, and growing temperature which are carrier gas.

[0021]For example, if the ratio of nitrogen gas is raised among carrier gas, a transverse direction growth rate will increase and, moreover, the growth principal surface will become near vertically to the field of the substrate 10. If an ammonia partial pressure is increased, it will become easy to move the penetration dislocation of the perpendicular direction from the substrate 10 into a growth film in the disorderly direction, and dislocation density will decrease with growth time, and also crystal defects, such as a point defect, will also become is hard to be formed. If growing temperature is raised, the growth principal surface will become vertical easily to the field of the substrate 10.

[0022]In consideration of these, concretely, the mixture ratio of carrier gas was set to hydrogen:nitrogen =2:1, the ammonia partial pressure was set to 360Torr (1/2 atmosphere), and the n type AlGaIn clad layer 14 and SCH-MQW active layer 15 were grown epitaxially with the growing temperature of 1050 ** at this embodiment. Thereby, the cladding layer 14 and the active layer 15 were formed with about 60-degree inclination to the substrate 10. What grew up to be the both sides of the projection 23 will be connected on the projection 2 by the cladding layer 14. Growing temperature was 800 ** and it was made to grow up in the atmosphere of only nitrogen gas about the InGaIn quantum well layer of the active layer 15. The stripe width of the active layer 15 formed with a slant face is about 2.1 micrometers.

[0023]Then, as shown in drawing 2 C, the p type AlGaIn clad layer 16 is grown epitaxially by the MOCVD method so that the active layer 15 and the cladding layer 14 may be covered. Between the stripe shape projections 23 is filled, the growth phase of the both sides of the stripe shape projection 23 joins together, and this cladding layer 16 is grown up until the surface becomes almost flat soon. However, some V grooves may remain. After that, further, as shown in drawing 2 D, the p type GaIn contact layer 17 is grown epitaxially, and flattening of the surface is carried out nearly thoroughly.

[0024]After this, as shown in drawing 1, the p lateral electrode 18 and the solder layer 20 are formed on GaIn contact layer 17. After the GaIn board 10 grinds a rear face and adjusts thickness to about 80 micrometers, it forms the n lateral electrode 19. Subsequently, cleavage of the wafer is carried out with the cleavage plane which is parallel with the section of drawing 2 so that it may become 0.5 mm of cavity length. and — the light emitting end sides A and B of the chip shown in drawing 1 (b) — ECR-CVD (electron cyclotron resonance CVD) — the coat of the high reflection film is carried out by law or a sputtering technique. Let a high reflection film be TiO₂/SiO₂ film of the 1/4-wave thickness of a laser oscillation wavelength concretely. It cuts in

the direction which intersects perpendicularly with the field of drawing 2, and after carrying out chip making so that it may contain the active layer 15 in one each at a time, the field and the AlN mount chip 21 of the solder layer 20 are bonded by thermo-compression at 320 °C.

[0025]When the semiconductor laser of this embodiment impresses the voltage used as forward bias, the current which flows in from the p lateral electrode 18 flows through the active layer 15 into a transverse direction, and also flows through projection 23 portion downward, and goes into the n lateral electrode 19. Although the up-and-down cladding layers 16 and 14 carry out direct contact also to the outside of the active layer 15 and pn junction is formed, it is that the current which crosses the active layer 15 becomes the barrier is more expensive than the barrier between the p type clad layer 16 and the active layer 15, therefore dominant, and laser oscillation becomes possible. Concretely, 30 mA of threshold current and the room temperature continuous oscillation in the oscillation wavelength of 403 nm were accepted with the operating voltage 4.2V. The element life by 80 °C and 50W drive was 5000 hours or more. The far field pattern (FFP) had a single Main peak by 8 degrees of horizontal angles, and 22 degrees of vertical angles, and the beam characteristic suitable for optical disc application was obtained.

[0026]In the laser of this embodiment, an active layer is not the thing grown-up at right angles to a substrate face, and is grown up into the transverse direction on the side of a stripe shape projection. Therefore, it is not influenced by the penetration dislocation from a substrate, but becomes an active layer with low dislocation density, and, thereby, leak current will become low. Since the MQW layer of the center of the active layer 15 is formed in the surface with flat Ga side of a GaN lightguide, the oscillation with low threshold current is attained. Since it is formed in the side of the stripe shape projection 23, the n type AlGaIn clad layer 14 is not influenced by the grating constant of the GaN board 10, but turns into a layer near a freestanding original grating constant, there are few distortion and rearrangements and a crack etc. do not produce it easily. For this reason, by making this n type AlGaIn clad layer 14 to some extent thick, the optical confinement effect could be made into sufficient thing, and this has led to oscillation threshold reduction.

[0027]It is also effective to adopt the superstructure of AlGaIn/GaN as a cladding layer for reduction of actuating current. As for the heat generated in the active layer, heat dissipation is easy by use of the AlN sub mount chip with high thermal conductivity. In the usual laser, since an active layer is formed as a film parallel to a substrate, FFP becomes a substrate with a perpendicularly long ellipse form, but when it is this embodiment, FFP inclined about 60 degrees to FFP of the usual laser is obtained as mentioned above. What is necessary is for it to be satisfactory since this FFP is made to condense circularly, but just to rotate an output beam on a system, in optical disc application etc., using a diffraction grating etc., when FFP of an ellipse vertical to a substrate face is required.

[0028][Embodiment 2] Drawing 3 makes the section of the nitride system semiconductor laser by another embodiment correspond to drawing 1 (a), and shows it. According to this embodiment, the silicon on sapphire 31 is used instead of the GaN board 10 of a previous embodiment. The n type AlGaIn buffer layer 11 is formed like a previous embodiment on this via the n type GaN contact layer 32 on this silicon on sapphire 31. The element composition on this AlGaIn buffer layer 11 is the same as a previous embodiment. However, since the silicon on sapphire 31 is an insulator, the n lateral electrode 19 performs drilling etching until the n type GaN contact layer 32 is exposed, and forms it in the surface.

[0029]The almost same laser characteristic as a previous embodiment is acquired by this embodiment. Since the heat dissipation nature of silicon on sapphire is inferior to it of a GaN board, actuating current goes up slightly and the characteristic may be affected under hot environments. Although there was a possibility that the yield might fall at the cleavage process and chip making process for laser cavity formation, the feasible thing was fundamentally checked also by the insulating substrate.

[0030][Embodiment 3] Drawing 4 (a) and (b) is the chip cross section figure and chip flat figure in which having made the nitride system semiconductor laser by another embodiment correspond to drawing 1 (a) and (b), and showing it. The point that this embodiment differs from the embodiment of drawing 1 is a point which makes the projection 23 the shape of a hexagonal

prism with the side 12 of an abbreviated perpendicular instead of the shape of SUTORAIBU. This is also formed of anisotropic dry etching. Since the active layer 15 grown up into each side 12 of this columnar protrusion 23 inclines to a substrate's face like a previous embodiment, it serves as a circumference shape which has a spindle surface of hexagon-head weight as a whole. Therefore, the light generated in an active layer excites a career by going around, and causes laser oscillation. However, as an optical beam is emitted only in the specific direction, in order to make an oscillation threshold low, a device which uses a specific corner as a light emitting end is required. It is good also considering the projection 23 as not a hexagonal prism but a pillar. Also as a cylindrical projection, the active layer 15 becomes ****-like with the plane direction dependency of the rate of crystal growth.

[0031][Embodiment 4] Drawing 5 shows the section of the nitride system semiconductor laser by another embodiment. The laser array for high power consists of this embodiment by carrying out 1 chip making including two or more active layers 15 formed on the n type GaN board 10. The composition and the manufacturing process of each class are the same as that of Embodiment 1. However, the p type semiconductor layer which grows up to be the upper part of the stripe shape projection 23 is removed, and is made into the opening 51. This is for preventing the penetration dislocation from the substrate 10 going into the upper part of the stripe shape projection 23 mostly, and causing energization degradation by pn junction. Insulators, such as SiO₂ and SiN, may also be embedded in the opening 51.

[0032]The n lateral electrode 19 is formed in common to two or more laser device units which have every one active layer 15, respectively. The p lateral electrodes 18 each are also connected to the submount 21 in common via the solder layer 20. Therefore, the parallel drive of two or more laser device units is carried out, and high power is obtained.

[0033]Concretely, a laser array is constituted with about 100 active layers, and it is obtained more than maximum output 20W. However, an oscillation wavelength serves as a large multi-mode oscillation of the range of 396 nm – 410 nm by the thickness of each element region, or fluctuation of composition ratio in this case. By such array-ization, although heat dissipation nature becomes a problem, if a Peltier forced-cooling machine is used instead of AlN as the submount 21, about this, it is solvable.

[0034][Embodiment 5] Drawing 6 shows the section of the nitride system semiconductor laser by another embodiment. Although 1 chip making also of this embodiment is carried out including two or more active layers 15 formed on the n type GaN board 10, the tandem drive of two or more active layers 15 is made to be carried out. That is, although the n type clad layer 14, the active layer 15, and the p type clad layer 16 are formed like each previous embodiment, the p type clad layer 16 is etched until the n type clad layer 14 and the projection 23 are exposed, and pn junction is made not to be formed among these directly. And the electrodes 63 and 65 are formed in the side of the p type clad layer 16 of the both-the-right-and-left-ends part of the laser device unit by which array arrangement was carried out via the contact layers 62 and 64, respectively.

[0035]The AlN polycrystalline layer 61 of high resistance was formed in the upper part of a laser device array, and this AlN polycrystalline layer 61 is connected to the AlN submount 21 via the solder layer 20. It means that the series connection of the laser device unit by which array arrangement was carried out was carried out by this in the state where pn junction becomes reverse by turns between the electrodes 63 and 65. By making the AlN polycrystalline layer 61 of high resistance intervene on a laser device array, even if it uses a soldering metal, the energization to an element part from the submount 21 is prevented. The AlN polycrystalline layer 61 is excellent in heat dissipation nature, and serves it not only to be able to miss generation of heat effectively, but to distort by contact with solder or submount and to ease stress, since the coefficient of thermal expansion is as near as a nitride system semiconductor.

[0036]When direct-current operating voltage is impressed between the electrodes 63 and 65 in the case of this embodiment, the half which serves as forward bias among the laser devices by which array arrangement was carried out oscillates, the remainder will require big reverse bias and between the elements which tunneling current flows and adjoins will be connected in series. When a volts alternating current is impressed, the element which becomes forward bias by the

positive half wave and a negative half wave, respectively will oscillate by turns.

[0037][Embodiment 6] the GaN system semiconductor laser of the type which carries out a parallel drive including two or more active layers which were explained by Embodiment 4, Since high power is not only obtained, but it becomes the multi-mode in which the oscillation wavelength range exceeded 10 nm by fluctuation of the presentation of each active layer, it is effective when it applies to especially a projection type liquid crystal projector etc.

[0038]Drawing 7 shows the projection type liquid crystal projector of such an embodiment. The output beam of the GaN system semiconductor lasers 72a, 72b, and 72c of R, G, and B, Respectively it is changed into a circular beam by the cylindrical lenses (or diffraction grating) 73a, 73b, and 73c, it is collimated by the collimate lens systems 74a, 74b, and 74c, and R, G, and the liquid crystal plates 71a, 71b, and 71c for B glare. The transmitted light of the liquid crystal plates 71a, 71b, and 71c goes into the beam splitter 75, is compounded, and enlargement projection is carried out with the projection lens 76.

[0039]Concretely, the semiconductor lasers 72a, 72b, and 72c are constituted [by choosing In presentation of the InGaIn quantum well layer of the active layer in Embodiment 4] as a three-primary-colors laser array (the center wavelength of 630 nm, 520 nm, and 470 nm), respectively. Although the triangle on the chromaticity coordinate by which a color rendering is carried out by using this three-wave laser can reproduce most colors which human being senses, it is that the oscillation wavelength range serves as a multi-mode of the range which is about 10 nm as mentioned above especially, and a reproducible color range is expanded more.

[0040]Concretely, R, G, and the B semiconductor lasers 72a, 72b, and 72c can fully be borne in broad daylight at projection of 100 inches or more, if the maximum optical power 20W shall be exceeded including 100 active layers, respectively. Even if the optical power for obtaining light flux 1000lm takes relative luminosity into consideration, it is because it is 16.1W in 2.0W and blue in 5.5W and green in red. At this time, the power consumption of R, G, and the B semiconductor lasers 72a, 72b, and 72c is set to 15W, 8W, and 91W, respectively. This becomes about 60% of reduce power consumption compared with about 200 W of the conventional liquid crystal projector for the interior of a room which used the lamp light source. And since the semiconductor laser can switch optical power by switching the amount of supply current, a brilliance control is also easy.

[0041]This invention is not restricted to the above-mentioned embodiment. For example, according to the above-mentioned embodiment, other methods can also be used although the level difference was formed in the buffer layer by anisotropic dry etching. For example, mask patterns (for example, SiO_2 , SiN , etc.) are formed in Jo Shimoji, such as a substrate and a buffer layer, A level difference can be similarly formed in the Shimoji surface exposed to this mask opening by growing up selectively a $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) layer. As a substrate, ceramic substrates, such as monocrystal substrates, such as GaN, GaAs besides sapphire, Si, SiC, and a diamond, or AlN, can be used. This invention is applicable not only like a semiconductor laser but LED.

[0042]

[Effect of the Invention]As stated above, according to this invention, an active layer, In order to grow epitaxially with the grown surface sloping on the side of the abbreviated perpendicular of the level difference formed on the substrate to the substrate and not to be influenced by the penetration dislocation from a substrate, etc., threshold current is low and the semiconductor emission device of a nitride system with the high controllability of an oscillation wavelength which is high power is obtained.

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is the sectional view and top view showing the structure of the semiconductor laser by this embodiment of the invention.

[Drawing 2 A] It is a sectional view showing the manufacturing process of the embodiment.

[Drawing 2 B] It is a sectional view showing the manufacturing process of the embodiment.

[Drawing 2 C] It is a sectional view showing the manufacturing process of the embodiment.

[Drawing 2 D] It is a sectional view showing the manufacturing process of the embodiment.

[Drawing 3]It is a sectional view of the semiconductor laser by other embodiments.

[Drawing 4]It is the sectional view and top view of a semiconductor laser by other embodiments.

[Drawing 5]It is a sectional view of the semiconductor laser by other embodiments.

[Drawing 6]It is a sectional view of the semiconductor laser by other embodiments.

[Drawing 7]It is a figure showing the composition of the projection type liquid crystal projector which applied the semiconductor laser by this invention.

[Description of Notations]

10 — A n type GaN board, 11 — A n type GaN buffer layer, 12 — Level difference side, 13 [— A p type AlGaIn clad layer, 17 / — A p type GaN contact layer, 18 / — p lateral electrode, 19 / — n lateral electrode, 20 / — A solder layer, 21 / — AlN submount, 23 / — Projection.] — A spacer, 14 — A n type AlGaIn clad layer, 15 — An active layer, 16

[Translation done.]

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	テームト* (参考)
H01S 5/343	610	H01S 5/343	610 2H088
G02F 1/13	505	G02F 1/13	505 2H091
	1/13357		5F045
H01L 21/205		H01L 21/205	5F073

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全9頁)

(21) 出願番号 特願2001-78027(P2001-78027)

(22) 出願日 平成13年3月19日 (2001.3.19)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 小野村 正明

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 布上 真也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100092820

弁理士 伊丹 勝

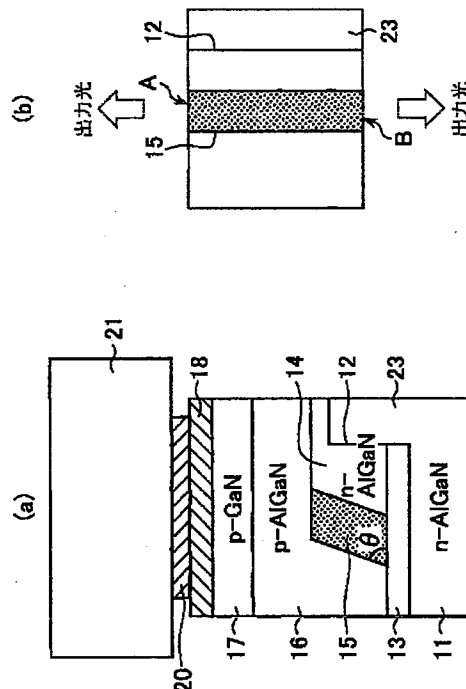
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 発振しきい値電流が低く、高出力化と発振波長制御性の向上を図った、窒化物系半導体を用いた半導体発光装置とその製造方法を提供する。

【解決手段】 n型GaN基板10に、n型Ga_xIn_yAl_{1-x-y-z}N (0 ≤ x, y, z, x+y+z ≤ 1) 系半導体からなるバッファ層11が形成され、その表面には、ストライプ状突起23を形成することにより、基板表面に略垂直な側面をもって段差12が加工される。このバッファ層11の段差側面12に基板に対して傾斜した成長面をもってn型Ga_xIn_yAl_{1-x-y-z}N (0 ≤ x, y, z, x+y+z ≤ 1) 系半導体からなる下部クラッド層14が形成され、更にその成長面に基板に対して傾斜した成長面を有する、Ga_xIn_yAl_{1-x-y-z}N (0 ≤ x, y, z, x+y+z ≤ 1) 系半導体からなる活性層15が形成される。この活性層15を覆うようにp型Ga_xIn_yAl_{1-x-y-z}N (0 ≤ x, y, z, x+y+z ≤ 1) 系半導体からなる上部クラッド層16が形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、

この基板上に形成されて、表面に略垂直な側面をもって段差が形成された、窒化物系半導体からなるバッファ層と、

このバッファ層の前記段差の側面に前記基板に対して傾斜した成長面をもってエピタキシャル成長された窒化物系半導体からなる活性層と、を有することを特徴とする半導体発光装置。

【請求項 2】 基板と、

この基板上に形成されて、表面に略垂直な側面をもって段差が形成された第 1 導電型の第 1 の $Ga, In, Al, B_{1-x-y-z}N$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなるバッファ層と、

このバッファ層の前記段差の側面に前記基板に対して傾斜した成長面をもってエピタキシャル成長された第 1 導電型の第 2 の $Ga, In, Al, B_{1-x-y-z}N$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなる下部クラッド層と、

この下部クラッド層の成長面にエピタキシャル成長されて前記基板に対して傾斜した成長面を有する、第 3 の $Ga, In, Al, B_{1-x-y-z}N$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなる活性層と、

この活性層を覆ってエピタキシャル成長された第 2 導電型の第 4 の $Ga, In, Al, B_{1-x-y-z}N$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなる上部クラッド層と、を有することを特徴とする半導体発光装置。

【請求項 3】 前記バッファ層の段差は、ストライプ状突起であり、

前記活性層は、前記ストライプ状突起の側面に沿ってストライプ状に形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の半導体発光装置。

【請求項 4】 前記バッファ層の段差は、柱状突起であり、

前記活性層は、前記柱状突起を周回する形状をもって形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の半導体発光装置。

【請求項 5】 前記基板上に形成された複数の活性層を含んで、これら複数の活性層が並列駆動されるようにチップ化されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の半導体発光装置。

【請求項 6】 前記基板上に形成された複数の活性層を含んで、これら複数の活性層が直列に駆動されるようにチップ化されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の半導体発光装置。

【請求項 7】 前記活性層は量子井戸構造であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の半導体発光装置。

【請求項 8】 基板上に、窒化物系半導体層からなるバッファ層をエピタキシャル成長する工程と、

前記バッファ層の表面に略垂直の側面をもって段差を加工する工程と、

前記バッファ層の前記段差の側面に、前記基板の面に対して傾斜した成長面をもって窒化物系半導体からなる活性層をエピタキシャル成長する工程と、を有することを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項 9】 請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の半導体発光装置と光学系を組み合わせる構成された投射型表示装置。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、窒化物系半導体材料を用いた発光装置、特に $Ga, In, Al, B_{1-x-y-z}N$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) を用いた発光装置とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、固体照明や液晶プロジェクタ等の光源のために可視半導体発光装置のニーズが高まっている。半導体発光装置はランプ光源と比べて、効率がよい、消費電力が少なく、長寿命である、明るい、光源交換が不要である、コンパクトであるといった種々の利点を有する。RGB 3 式板液晶プロジェクタの場合、1000lm (ルーメン) を越える明るさを有する可視半導体レーザを光源として備えたものが実現できれば、昼光環境下でも 100 インチ以上の大画面投影が可能になる。

【0003】現在実用されているランプ光源液晶プロジェクタの場合、ランプ光源の光束 1000lm のうち、投射される光利用効率は 3% 以下と低く、ランプの電力効率も低い。このため、薄暗い部屋で空冷しながら用いるといった用途に限られてしまう。光源として半導体発光素子 (LED) を用いる場合、発光効率はランプと同程度であり、光分岐を行わないレンズ系を用いるといった工夫により光利用効率はランプの 2 倍程度に改善され、光源寿命はランプの場合より飛躍的に改善されるが、それでも用途は限られる。

【0004】これに対して、光源として半導体レーザを用いることは、発光効率の向上、それに伴う光利用効率の向上、更に消費電力の低減が図られるため、期待されている。しかし、色度図上で最も多彩な色を表現できる赤 (R)、緑 (G)、青 (B) 3 原色波長 (R: 630nm, G: 520nm, B: 470nm) の半導体レーザのうち、G と B は、第 2 次高調波発生を利用するか、又は ZnSe 系材料を用いて実現されているが、これらは実用には至っていない。

【0005】また、量子井戸構造を有する GaN 系半導体レーザは、R、G、B いずれもレーザ発振可能であることが理論的にはわかっており、青紫色発光レーザも、数千時間以上の室温連続発振が実現されている。しかし、その発振波長は、400~450nm であって、液

晶プロジェクタや光ディスクシステムの高密度記録用光源としては、より短波長の青色発光が望まれている。また人工的にのみ作られる GaN 基板は、転位等の結晶欠陥が多く、これが GaN 系半導体レーザの高出力化や低しきい値化を阻害している。更に、GaN 基板の欠陥に起因して、活性層等の多元系積層膜では組成の揺らぎが大きく、これが発振波長制御性を低いものとしている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 GaN 系材料は、次世代の液晶プロジェクタや光ディスクシステムの光源として期待されているが、上述のように GaN 基板の結晶欠陥に起因して、高出力化や低しきい値化、発振波長制御性等が制限されているのが実状である。

【0007】この発明は、発振しきい値電流が低く、高出力化と発振波長制御性の向上を図った、窒化物系半導体を用いた半導体発光装置とその製造方法を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明に係る半導体発光装置は、基板と、この基板上に形成されて、表面に略垂直な側面をもって段差が形成された、窒化物系半導体からなるバッファ層と、このバッファ層の前記段差の側面に前記基板に対して傾斜した成長面をもってエピタキシャル成長された窒化物系半導体からなる活性層と、を有することを特徴とする。

【0009】この発明に係る半導体発光装置はまた、基板と、この基板上に形成されて、表面に略垂直な側面をもって段差が形成された第1導電型の第1の $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Al}_{1-y}\text{B}_{1-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなるバッファ層と、このバッファ層の前記段差の側面に前記基板に対して傾斜した成長面をもってエピタキシャル成長された第1導電型の第2の $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Al}_{1-y}\text{B}_{1-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなる下部クラッド層と、この下部クラッド層の成長面にエピタキシャル成長されて前記基板に対して傾斜した成長面を有する、第3の $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Al}_{1-y}\text{B}_{1-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなる活性層と、この活性層を覆ってエピタキシャル成長された第2導電型の第4の $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Al}_{1-y}\text{B}_{1-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) 系半導体からなる上部クラッド層と、を有することを特徴とする。

【0010】この発明による半導体発光装置の製造方法は、基板上に、窒化物系半導体層からなるバッファ層をエピタキシャル成長する工程と、前記バッファ層の表面に略垂直な側面をもって段差を加工する工程と、前記バッファ層の前記段差の側面に、前記基板の面に対して傾斜した成長面をもって窒化物系半導体層からなる活性層をエピタキシャル成長する工程と、を有することを特徴とする。

【0011】この発明によると、窒化物系半導体からなる活性層は、基板上に形成された段差の略垂直の側面に、基板に対して傾斜した成長面をもってエピタキシャル成長される。これにより、転位の多い GaN 等の窒化物系半導体を用いた場合でも、基板から活性層内に伝搬する貫通転位等の結晶欠陥を効果的に回避することができる。基板から多数の半導体層を格子不整合の条件で形成した場合には大きな歪み応力が発生しやすいが、この発明では活性層部分を段差の側面にエピタキシャル成長させるため、活性層に入る歪みをも抑えることができる。以上のようにこの発明によると、基板からの活性層に対する種々の影響を抑制できる結果、しきい値電流が低く、高出力であり、且つ発振波長の制御性の高い、窒化物系の半導体発光装置が得られる。

【0012】この発明において、具体的に、バッファ層の段差は、ストライプ上突起である。この突起は例えば、バッファ層をドライエッチングにより作られる。活性層は、このストライプ状突起の側面に沿ってストライプ状に形成される。或いはまた、バッファ層の段差は、柱状突起とすることもできる。この様な柱状突起もバッファ層をドライエッチングして作られる。この場合活性層は、その柱状突起を周回する形状をもって形成される。

【0013】この発明による半導体発光装置は、例えば、基板上に形成された複数の活性層を含んで、これら複数の活性層が並列駆動されるようにチップ化することができる。或いはまた、基板上に形成された複数の活性層を含んで、これら複数の活性層が直列に駆動されるようにチップ化することもできる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、この発明の実施の形態を説明する。

【実施の形態1】図1(a)(b)は、この発明の実施の形態による GaN 系半導体レーザの断面図とチップ平面図を示している。GaN 基板 10 は、(0001) c 軸 Ga 面を主面とする、n 型 GaN (Si ドープ: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$, $80 \mu\text{m}$) である。この GaN 基板 10 上に n 型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ バッファ層 11 がエピタキシャル成長されている。バッファ層 11 の面には、異方性ドライエッチングによりストライプ状突起 23 を加工して作られた段差を有する。段差側面 12 は、基板面に対して略垂直である。

【0015】段差の底面(溝部)には、 SiO_2 スペーサ 13 が形成されている。そして、段差の側面 12 を結晶成長の種として、横方向に、n 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層 (Si ドープ: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) 14 及び活性層 15 が順次エピタキシャル成長され、更に活性層 15 を覆うように p 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層 (Mg ドープ: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) 16 がエピタキシャル成長されている。活性層 15 は、具体的に、n 型 G

a N光導波層 (Si ドープ: $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$, $0.1 \mu\text{m}$)、In_{0.11}Ga_{0.89}N 井戸層 (3 nm, 3 層) / In_{0.02}Ga_{0.98}N 障壁層 (6 nm) による多重量子井戸層及び、p 型 GaN 光導波層 (Mg ドープ: $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$, $0.1 \mu\text{m}$) の積層構造として構成される、SCH-MQW (Separate Confinement Heterostructure Multi-Quantum Well) 活性領域であり、横方向の幅が $2 \mu\text{m}$ である。

【0016】クラッド層 14 は、成長条件を適切に選択して、ほぼ段差の側面 12 のみに選択的にエピタキシャル成長させることによって、基板 10 の面に対して 60° 程度の成長面をもって形成される。図では、突起 23 の上面にもクラッド層 14 が形成されているが、これは実際には、段差側面 12 から横方向に成長したものが突起 23 上にも張り出したものである。そして、クラッド層 14 の成長面にその傾斜を維持して活性層 15 が選択的にエピタキシャル成長される。従って、活性層 15 は、基板 10 の面に対して $\theta = 60^\circ$ 程度の傾斜した面をもって形成されることになる。クラッド層 14 の上面に僅かに活性層成分の InGa_N 層が成長したとしても、横方向に SCH-MQW 層の膜厚制御を最適化することで、活性層としては機能しない。

【0017】p 型 AlGa_N クラッド層 16 の上には、p 型 Ga_N コンタクト層 (Mg ドープ: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$, $0.1 \mu\text{m}$) 17 がエピタキシャル形成されている。この p 型コンタクト層 16 の上に、Pt/Au からなる p 側電極 18 が形成され、基板 10 の裏面は Ti/Pt/Au からなる n 型電極 19 が形成されている。p 型電極 18 は、AuSn 半田層 20 を介して、AlN サブマウントチップ 21 に接続される。

【0018】この実施の形態の半導体レーザの製造工程を具体的に、図 2A~図 2D を参照して説明する。まず、図 2A に示すように、鏡面の Ga_N 基板 10 の表面に、有機金属気相成長 (MOCVD) 法により、AlGa_N バッファ層 11 を形成する。ここで、AlGa_N バッファ層 11 の Al 組成比は、0 から、この上に形成される AlGa_N クラッド層の Al 組成比の間であればよく、この間で Al 組成比が連続的に変化する状態としてもよいし、或いはこの AlGa_N バッファ層 11 の Al 組成比は膜厚方向に一定として、その下地に別途更に Al 組成比が変化するバッファ層を介在させるようにしてもよい。

【0019】AlGa_N バッファ層 11 上に、図示しない SiO₂ マスクやレジストマスクを形成して、AlGa_N バッファ層 11 を異方性ドライエッチングでエッチングすることにより、図 2A に示すように所定間隔のストライプ状突起 23 を形成する。このストライプ状突起 23 の段差側面 12 は略垂直面となり、これを次の結晶成長の面とするために、溝底部には SiO₂ 或いは SiN 等のスペーサ 13 を埋め込む。但し、必ずしもストラ

イプ状突起 23 である必要はなく、段差 12 を得るためには溝加工でもよい。溝の深さがある程度以上深い場合には、スペーサ 13 の埋め込みは省略することができる。またスペーサ 13 として、レーザ発振の縦モード制御のための回折格子を形成してもよい。

【0020】次いで、図 2B に示すように、MOCVD 法により、n 型 AlGa_N クラッド層 14 をエピタキシャル成長し、続いて SCH-MQW 活性層 15 をエピタキシャル成長する。このとき、AlGa_N クラッド層 14 は、ストライプ状突起 23 の段差側面 12 を結晶成長の種として、主として斜め方向に成長するように、垂直方向の成長を抑制する。そのためには、キャリアガスである水素と窒素の混合比、アンモニアガスの分圧、成長温度を最適化することが必要になる。

【0021】例えば、キャリアガスのうち窒素ガスの比を高めると、横方向成長速度が増加し、しかもその成長主面は基板 10 の面に対して垂直に近くなる。アンモニア分圧を増やすと、成長膜中に基板 10 からの垂直方向の貫通転位が無秩序方向に動きやすくなり、成長時間と共に転位密度が低減し、更に点欠陥等の結晶欠陥も形成されにくくなる。成長温度を上げると、成長主面は、基板 10 の面に対して垂直になりやすい。

【0022】これらを考慮して具体的にこの実施の形態では、キャリアガスの混合比を水素:窒素=2:1とし、アンモニア分圧を 360 Torr ($1/2$ 気圧) とし、成長温度 1050℃で、n 型 AlGa_N クラッド層 14 及び SCH-MQW 活性層 15 をエピタキシャル成長させた。これにより、クラッド層 14 及び活性層 15 は、基板 10 に対して約 60° の傾斜をもって形成された。クラッド層 14 は、突起 23 の両側に成長したものが突起 2 上で連結された状態になる。活性層 15 の InGa_N 量子井戸層については、成長温度を 800℃とし、窒素ガスだけの雰囲気中で成長させた。斜面をもって形成される活性層 15 のストライプ幅は、約 $2.1 \mu\text{m}$ である。

【0023】この後、図 2C に示すように、活性層 15 及びクラッド層 14 を覆うように、p 型 AlGa_N クラッド層 16 を MOCVD 法によりエピタキシャル成長させる。このクラッド層 16 は、ストライプ状突起 23 の間を埋めて、ストライプ状突起 23 の両側の成長層が結合して、やがて表面がほぼ平坦になるまで成長させる。但し、多少の V 溝が残ってもよい。その後更に、図 2D に示すように、p 型 Ga_N コンタクト層 17 をエピタキシャル成長させて、表面をほぼ完全に平坦化する。

【0024】この後は、図 1 に示すように、Ga_N コンタクト層 17 上に p 側電極 18 及び半田層 20 を形成する。Ga_N 基板 10 は、裏面を研磨して厚みを $80 \mu\text{m}$ 程度に調整した後、n 側電極 19 を形成する。次いで、共振器長 0.5 mm になるように、図 2 の断面と並行する劈開面をもってウェハを劈開する。そして、図 1

(b) に示すチップの光出射端面 A、B には、ECR-CVD (電子サイクロトロン共鳴 CVD) 法或いはスパッタ法により、高反射膜をコートする。具体的に高反射膜は、レーザ発振波長の $1/4$ 波長厚の $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 膜とする。更に、図 2 の面に直交する方向に切断して、それぞれに一つずつ活性層 15 を含むようにチップ化した後、半田層 20 の面と AlN マウントチップ 21 とを 320°C で熱圧着する。

【0025】この実施の形態の半導体レーザは、順バイアスとなる電圧を印加したとき、p 側電極 18 から流れ込む電流は、活性層 15 を横方向に流れ、更に突起 23 部分を下向きに流れて n 側電極 19 に入る。活性層 15 の外側にも、上下クラッド層 16、14 が直接接触して pn 接合が形成されているが、その障壁は p 型クラッド層 16 と活性層 15 の間の障壁より高く、従って活性層 15 を横切る電流が支配的となることで、レーザ発振が可能になる。具体的に、動作電圧 4.2 V で、しきい値電流 30 mA、発振波長 403 nm での室温連続発振が認められた。80°C、50 W 駆動による素子寿命は、5000 時間以上であった。また、ファーク・フィールド・パターン (FFP) は水平角 8° 、垂直角 22° で単峰ピークを持ち、光ディスク応用に適したビーム特性が得られた。

【0026】この実施の形態のレーザでは、活性層は、基板面に垂直に成長したものではなく、ストライプ状突起の側面に横方向に成長させている。従って基板からの貫通転位の影響を受けず、転位密度の低い活性層となり、これにより漏洩電流が低いものとなる。また、活性層 15 の中心の MQW 層は、平坦な Ga 面を持つ GaN 光導波層の表面に形成されるために、低しきい値電流での発振が可能になっている。更に、n 型 AlGaIn クラッド層 14 は、ストライプ状突起 23 の側面に形成されるため、GaN 基板 10 の格子定数に影響されず、フリースタANDING である本来の格子定数に近い層となり、歪みや転位が少なく、クラック等も生じにくい。このため、この n 型 AlGaIn クラッド層 14 をある程度厚くすることで、光閉じ込め効果を十分なものとすることができ、これが発振しきい値低減につながっている。

【0027】なお、動作電流の低減のために、クラッド層に AlGaIn/GaN の超格子構造を採用することも有効である。活性層で発生した熱は、熱伝導率の高い AlN サブマウントチップの使用によって、放熱が容易になっている。通常のレーザでは、活性層が基板に平行な薄い層として形成されるため、FFP は基板に垂直方向に長い楕円形となるが、この実施の形態の場合前述のように、通常のレーザの FFP に対して 60° 程度傾斜した FFP が得られる。光ディスク応用等においては、この FFP を円形に集光させるので問題はないが、システム上、基板面に垂直な楕円の FFP が必要な場合には、回折格子等を用いて出力ビームを回転させればよい。

【0028】[実施の形態 2] 図 3 は、別の実施の形態による窒化物系半導体レーザの断面を、図 1 (a) に対応させて示している。この実施の形態では、先の実施の形態の GaN 基板 10 に代わって、サファイア基板 31 を用いている。このサファイア基板 31 上に n 型 GaN コンタクト層 32 を介して、この上に先の実施の形態と同様に n 型 AlGaIn バッファ層 11 を形成している。この AlGaIn バッファ層 11 上の素子構成は、先の実施の形態と同じである。但し、サファイア基板 31 が絶縁体であるため、n 側電極 19 は、n 型 GaN コンタクト層 32 が露出するまで孔開けエッチングを行って、その表面に形成している。

【0029】この実施の形態によっても先の実施の形態とほぼ同様のレーザ特性が得られる。サファイア基板の放熱性は GaN 基板のそれより劣るため、動作電流が僅かに上昇し、高温環境下では特性に影響が出る可能性がある。また、レーザ共振器形成のための劈開工程やチップ化工程で歩留まりが低下するおそれがあるが、基本的に絶縁性基板でも実施可能であることが確認された。

【0030】[実施の形態 3] 図 4 (a) (b) は、別の実施の形態による窒化物系半導体レーザを、図 1 (a) (b) に対応させて示したチップ断面図とチップ平面図である。この実施の形態が図 1 の実施の形態と異なる点は、突起 23 をストライプ状ではなく、略垂直の側面 12 を持つ六角柱状としている点である。これも異方性ドライエッチングにより形成される。この柱状突起 23 の各側面 12 に成長させる活性層 15 は、先の実施の形態と同様に基板面に対して傾斜するため、全体として六角錘の錘面を持つ周回形状となる。従って、活性層で発生する光は周回することでキャリアを励起して、レーザ発振を起こす。但し、特定の方向にのみ光ビームを出射するようにして、発振しきい値を低くするためには、特定のコーナーを光出射端とするような工夫が必要である。突起 23 を六角柱ではなく、円柱としてもよい。円柱状突起としても、結晶成長速度の面方位依存性により、活性層 15 は角錘状になる。

【0031】[実施の形態 4] 図 5 は、別の実施の形態による窒化物系半導体レーザの断面を示している。この実施の形態では、n 型 GaN 基板 10 上に形成された複数の活性層 15 を含んで 1 チップ化することにより、高出力用のレーザアレイを構成している。各層の構成及び製造工程は、実施の形態 1 と同様である。但し、ストライプ状突起 23 の上部に成長する p 型半導体層は除去して、空隙 51 としている。これは、ストライプ状突起 23 の上部には、基板 10 からの貫通転位が多く入り、pn 接合で通電劣化を起こすことを防止するためである。空隙 51 には、 SiO_2 、 SiN 等の絶縁体を埋め込んでもよい。

【0032】それぞれ一つずつの活性層 15 を持つ複数のレーザ素子ユニットに対して、n 側電極 19 は共通に

形成される。また各p側電極18も半田層20を介して共通にサブマウント21に接続されている。従って、複数のレーザ素子ユニットが並列駆動されて、高出力が得られる。

【0033】具体的に、100個程度の活性層をもってレーザアレイを構成して、最大出力20W以上は得られる。但しこの場合、各素子領域の層厚や組成比の揺らぎにより、発振波長は396nm~410nmという範囲の広いマルチモード発振となる。この様なアレイ化により、放熱性が問題になるが、これについては、サブマウント21として、AlNに代わってペルチェ強制冷却器を用いれば、解決できる。

【0034】〔実施の形態5〕図6は、別の実施の形態による窒化物系半導体レーザの断面を示している。この実施の形態でも、n型GaN基板10上に形成された複数の活性層15を含んで1チップ化しているが、複数の活性層15は、直列駆動されるようにしている。即ち、先の各実施の形態と同様にn型クラッド層14、活性層15及びp型クラッド層16を形成するが、p型クラッド層16は、n型クラッド層14及び突起23が露出するまでエッチングして、これらとの間で直接pn接合が形成されないようにする。そして、アレイ配列されたレーザ素子ユニットの左右両端部のp型クラッド層16の側面にそれぞれコンタクト層62、64を介して電極63、65を形成している。

【0035】レーザ素子アレイの上部には、高抵抗のAlN多結晶層61を形成し、このAlN多結晶層61を、半田層20を介してAlNサブマウント21に接続している。これにより、アレイ配列されたレーザ素子ユニットは、電極63、65間に、pn接合が交互に逆になる状態で直列接続されたことになる。レーザ素子アレイの上に高抵抗のAlN多結晶層61を介在させることにより、半田金属を用いてもサブマウント21から素子部への通電は防止される。またAlN多結晶層61は、放熱性に優れており、発熱を効果的に逃がすことができるだけでなく、熱膨張係数が窒化物系半導体と近いいため、半田やサブマウントとの接触により歪み応力を緩和する働きをする。

【0036】この実施の形態の場合、電極63、65間に直流動作電圧を印加したときは、アレイ配列されたレーザ素子のうち、順バイアスとなる半分が発振し、残りは大きな逆バイアスがかかってトンネリング電流が流れ、隣接する素子間を直列に接続することになる。交流電圧を印加した場合には、正の半波と負の半波でそれぞれ順バイアスになる素子が交互に発振することになる。

【0037】〔実施の形態6〕実施の形態4で説明したような、複数の活性層を含んで並列駆動するタイプのGaN系半導体レーザは、高出力が得られるだけでなく、各活性層の組成の揺らぎにより発振波長範囲が10nmを越えたマルチモードとなるため、特に投射型液晶プロ

ジェクタ等に適用した場合に有効である。

【0038】図7は、その様な実施の形態の投射型液晶プロジェクタを示している。R、G、BのGaN系半導体レーザ72a、72b、72cの出力ビームは、それぞれ、シリンドリカルレンズ（又は回折格子）73a、73b、73cにより円形ビームに変換され、コリメートレンズ系74a、74b、74cによりコリメートされて、R、G、B用の液晶板71a、71b、71cに照射される。液晶板71a、71b、71cの透過光は、ビームスプリッタ75に入って合成されて、プロジェクションレンズ76により拡大投射される。

【0039】具体的に、半導体レーザ72a、72b、72cは、実施の形態4における活性層のInGaN量子井戸層のIn組成を選択することによってそれぞれ、中心波長630nm、520nm、470nmの3原色レーザアレイとして構成する。この3波長レーザを用いることにより、演色される色度座標上での三角形は人間が感じる色の殆どを再生できるが、特に前述のように発振波長範囲が10nm程度の範囲のマルチモードとなることで、再現できる色範囲はより拡大される。

【0040】具体的に、R、G、B半導体レーザ72a、72b、72cをそれぞれ100個の活性層を含んで最大光出力20Wを越えるものとすれば、白昼で100インチ以上の投影に十分に耐えうる。光束1000lmを得るための光出力は、比視感度を考慮しても、赤色で5.5W、緑色で2.0W、青色で16.1Wであるからである。このとき、R、G、B半導体レーザ72a、72b、72cの消費電力はそれぞれ、15W、8W、91Wとなる。これは、ランプ光源を用いた従来の室内用液晶プロジェクタの約200Wに比べると、60%程度の消費電力低減になる。しかも、半導体レーザは供給電流量を切り換えることにより光出力を切り換えることができるので、輝度調整も容易である。

【0041】この発明は上記実施の形態に限られない。例えば上記実施の形態では、異方性ドライエッチングによりバッファ層に段差を形成したが、他の方法を用いることもできる。例えば、基板やバッファ層等の下地上にマスクパターン（例えばSiO₂、SiN等）を形成し、このマスク開口に露呈する下地表面に、Ga_xIn_yAl_{1-x-y}N（0≤x、y、z、x+y+z≤1）層を選択的に成長させることによっても同様に段差を形成することができる。また、基板としては、GaNやサファイアその他、GaAs、Si、SiC、ダイヤモンド等の単結晶基板、或いはAlN等のセラミック基板を用い得る。また半導体レーザに限らず、LEDにも同様にこの発明を適用することができる。

【0042】

【発明の効果】以上述べたようにこの発明によれば、活性層は、基板上に形成された段差の略垂直の側面に、基板に対して傾斜した成長面をもってエピタキシャル成長

され、基板からの貫通転位等の影響を受けないため、しきい値電流が低く、高出力であり、且つ発振波長の制御性の高い、窒化物系の半導体発光装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態による半導体レーザの構造を示す断面図と平面図である。

【図2A】同実施の形態の製造工程を示す断面図である。

【図2B】同実施の形態の製造工程を示す断面図である。

【図2C】同実施の形態の製造工程を示す断面図である。

【図2D】同実施の形態の製造工程を示す断面図である。

【図3】他の実施の形態による半導体レーザの断面図である。

*

*【図4】他の実施の形態による半導体レーザの断面図と平面図である。

【図5】他の実施の形態による半導体レーザの断面図である。

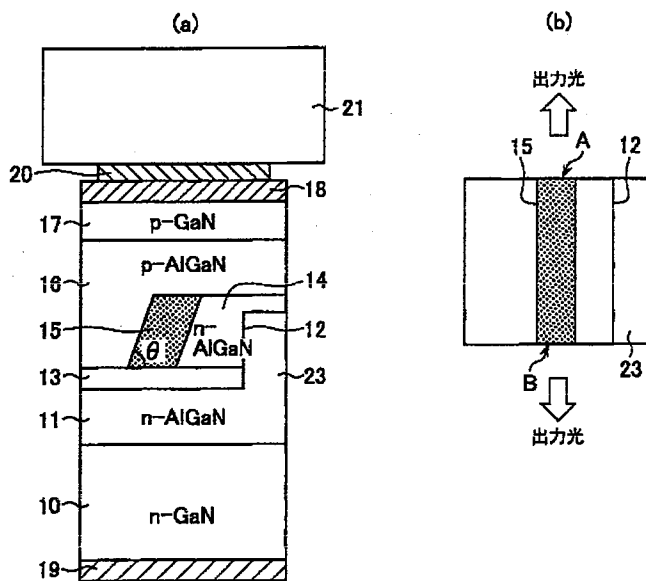
【図6】他の実施の形態による半導体レーザの断面図である。

【図7】この発明による半導体レーザを適用した投射型液晶プロジェクタの構成を示す図である。

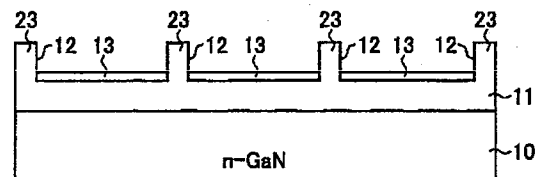
【符号の説明】

- 10…n型Ga_{0.9}N基板、11…n型Ga_{0.9}Nバッファ層、12…段差側面、13…スペーサ、14…n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層、15…活性層、16…p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層、17…p型Ga_{0.9}Nコンタクト層、18…p側電極、19…n側電極、20…半田層、21…Al_{0.1}Nサブマウント、23…突起。

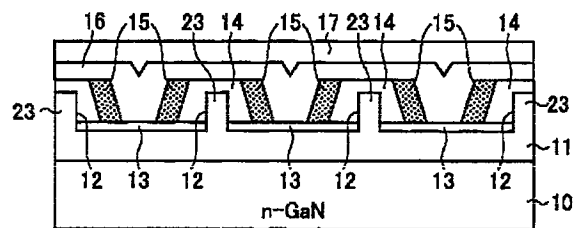
【図1】



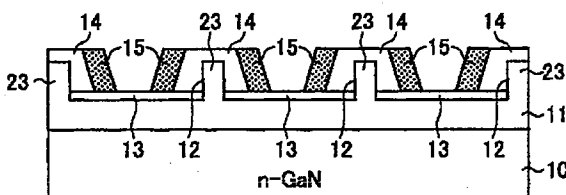
【図2A】



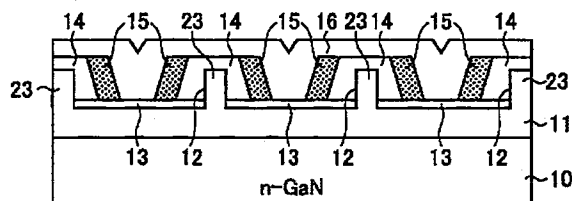
【図2D】



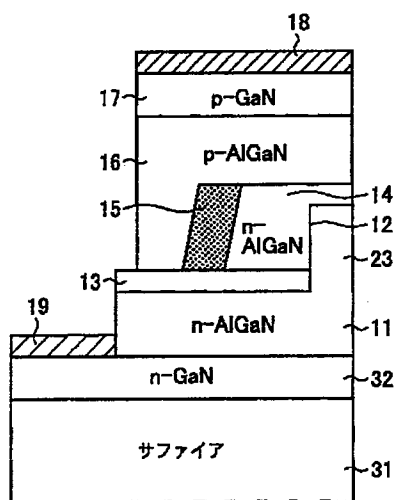
【図2B】



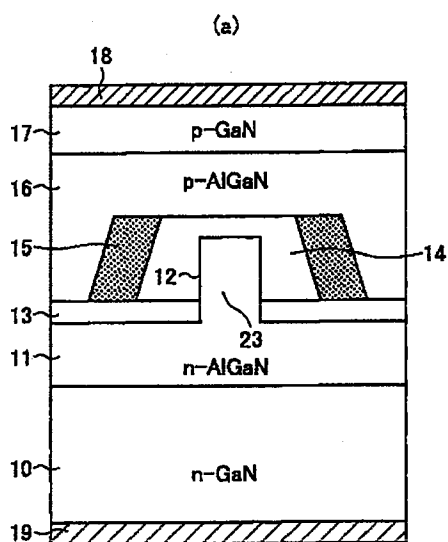
【図2C】



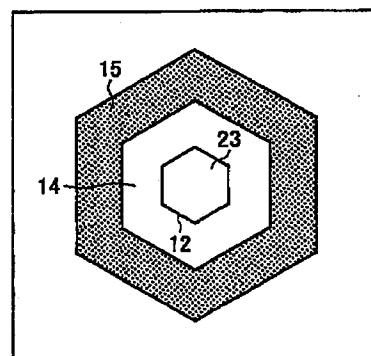
【図3】



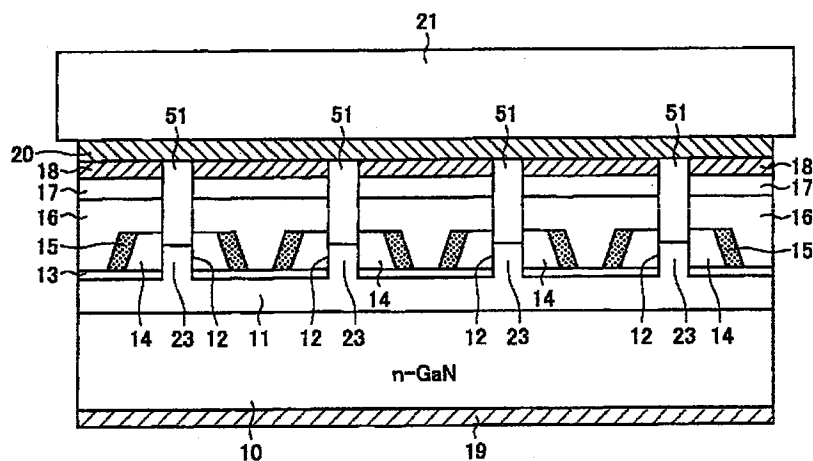
【図4】



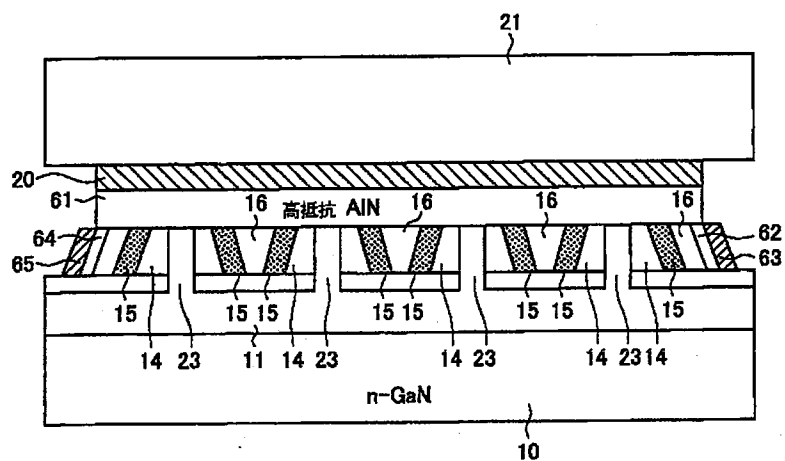
(b)



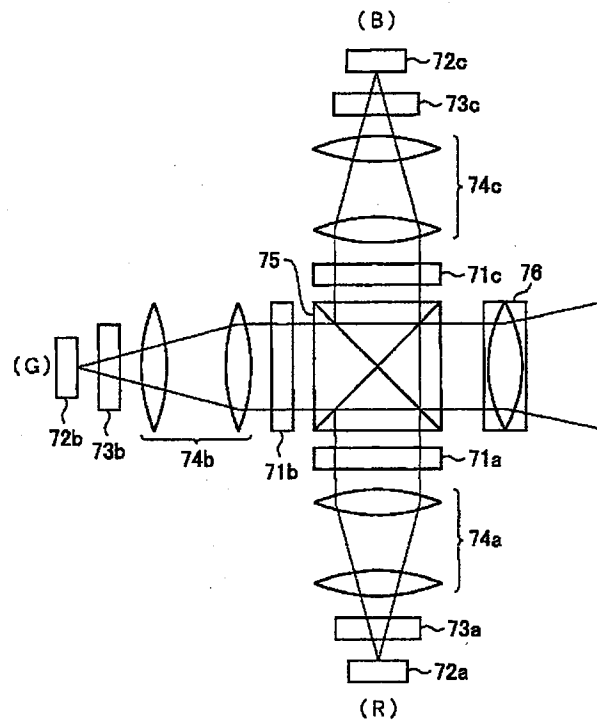
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H088 EA14 HA24 HA28 MA06
 2H091 FA26X FA26Z FA41Z FA46Z
 LA16 MA07
 5F045 AA04 AB19 AC12 AC15 AC18
 AD12 AF04 AF09 BB16 CA09
 CA12 DA51 DA52 DA53 DA55
 5F073 AA21 AA46 AA74 AA83 AB04
 BA06 BA09 CB02 CB07 CB19
 CB22 DA05 DA24 DA32 EA19
 EA28 FA15 FA22